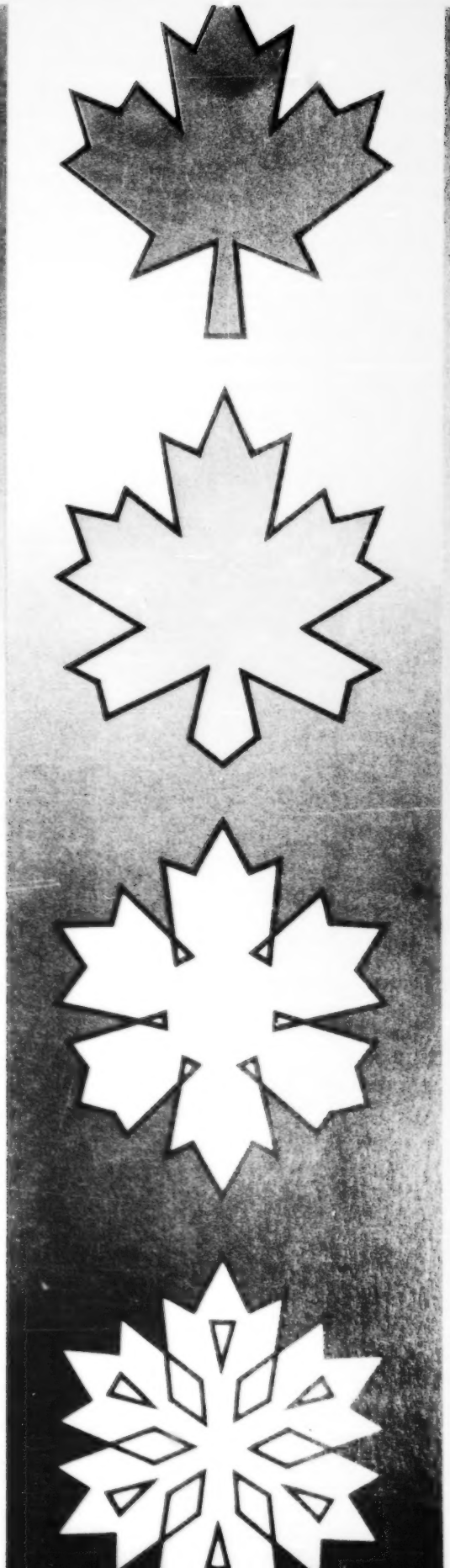
Environment Canada Environnement Canada

[redacted]

Preliminary Study of the Possible Impacts of a One Metre Rise in Sea Level at Charlottetown, Prince Edward Island

CCD 88-02



Canada

88-03745/

CLIMATE CHANGE DIGEST

CCD 87-01 Canadian Climate Impacts Program

CCD 87-02 Implications of Climatic Change for Agriculture in Ontario

CCD 87-03 Implications of Climatic Change for Navigation and Power Generation in the Great Lakes

CCD 87-04 Effects of a One Metre Rise in Mean Sea-Level at Saint John, New Brunswick and the Lower Reaches of the Saint John River

CCD 88-01 The Implication of Climate Change for Agriculture in the Prairie Provinces

CCD 88-02 Preliminary Study of the Possible Impacts of a One Metre Rise in Sea Level at Charlottetown, Prince Edward Island

Environment Canada Environnement Canada

PRELIMINARY STUDY OF THE POSSIBLE IMPACTS OF A ONE METRE RISE IN SEA LEVEL AT CHARLOTTETOWN, PRINCE EDWARD ISLAND

Summary of a Report

Prepared for
Climate Change Digest
Atmospheric Environment Service

by

P. Lane and Associates Limited
Halifax, Nova Scotia

DISCLAIMER

This publication contains a summary of the results of a study prepared under contract, by P. Lane and Associates Limited, to the Canadian Climate Centre. The views and opinions expressed herein are those of the authors and do not necessarily state or reflect those of the Government of Canada or any agency thereof.

Single copies of this publication may be obtained, free of charge, by writing to the:

Climate Program Office
Canadian Climate Centre
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario
M3H 5T4

Copies of the complete reports may be purchased by writing to:

P. Lane and Associates Limited
1046 Barrington Street
Halifax, Nova Scotia
B3H 2R1

Published by Authority of the
Minister of the Environment

©Minister of Supply and Services
Canada 1988

Catalogue No. EN57-27/1988-02
ISBN 0-662-55649-6
ISSN 0835-3980

FOREWORD

The composition of the earth's atmosphere is undergoing a major global change. Human activities, such as deforestation, the burning of fossil fuels and even agricultural practices have significantly increased the amount of carbon dioxide and other "greenhouse gases" in the atmosphere. There is now growing scientific evidence that increasing concentrations of these gases could result, over the next few decades, in a rise of global mean temperature which is greater than any in man's history (Villach Conference, Austria, October 1985). Studies indicate that warming in the range of 1.5 - 4.5°C could be expected; in Arctic regions it is likely to be even greater.

In the past few years, there has been an escalating international awareness of the dependence of various economic sectors on climatic fluctuations and on the implications of long-term climate change. Concerns have been expressed for the potential loss of coastal areas due to anticipated global sea level rises, destruction of the habitats of innumerable plant and animal species, and disruption of world agriculture, to name a few. At the same time, climate change offers the potential for significant economic opportunity. For Canada, this is likely to include an extension of the growing season and year-round shipping on the Great Lakes. The key element in successfully adapting to these changes will be our ability to mitigate the negative effects and to take advantage of the benefits.

In recognition of the impact of climate and climatic fluctuations on society, Canada established a Canadian Climate Program (CCP) in 1978 to integrate the efforts of various federal and provincial agencies as well as the universities and the private sector in the field of climatology. The Atmospheric Environment Service (AES) of Environment Canada was given responsibility as the lead agency for the program. One of the program's components has, since 1984, focussed on research studies to assess and identify the potential social and economic impacts of climate warming expected under a doubled carbon dioxide scenario. Most of these studies have been conducted under contract by Canadian universities.

While these and other studies over the last several years have clearly shown that increasing "greenhouse gas" concentrations have the potential for profound impacts on our physical environment, the results must still be treated as preliminary. There is general scientific agreement on the direction of long-term climate change, but uncertainty in the estimates of the magnitude and timing.

It is evident that additional studies are required in order to provide planning and policy information to all levels of government and private sector users. These would further serve to identify potential mitigative and adaptive strategies and be in keeping with Environment Canada's theme of "anticipate and prevent".

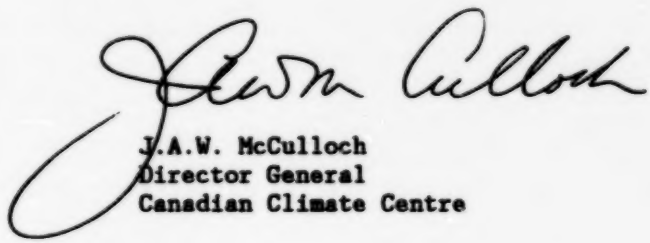
G. A. Sainte-Marie
Deputy Minister
Environment Canada

PREFACE

The Canadian Climate Centre (CCC) has funded a number of studies to investigate the potential impacts, on various sectors of the Canadian economy, of climate warming expected because of the increasing concentrations in the atmosphere of the "greenhouse gases". The equivalent of a doubling of the amount of CO_2 was the situation selected. The first issue of the Climate Change Digest identified the major socio-economic impact studies undertaken since 1984. A list of earlier titles in the series appears on the inside front cover.

One of the direct results of global warming is expected to be a rise in sea-levels of from 20 to 140 cm or more by the middle of the next century. The rise in sea-level will have, in turn, significant implications for coastal areas.

A previous issue of this publication (CCD 87-04) presented the summary results of a study of the potential implications of a one-metre rise in mean sea level at Saint John, New Brunswick. This issue contains the results of a similar study for Charlottetown, Prince Edward Island. Material in subsequent issues will include other study summaries as well as some articles relevant to other climate change issues.



J.A.W. McCulloch
Director General
Canadian Climate Centre

PRELIMINARY STUDY OF THE POSSIBLE IMPACTS OF A ONE METRE RISE IN SEA LEVEL AT CHARLOTTETOWN, PRINCE EDWARD ISLAND

This study begins with the assumption of a one metre rise in sea level because of global warming, and predicts the impacts of this scenario on Charlottetown, Prince Edward Island. The study does not attempt to validate this assumption, however, nor does it deal with analysis of other factors affecting sea level such as tectonic subsidence.

HIGHLIGHTS

- possible one metre rise in global sea level would cause significant social and economic impacts threatening many of Charlottetown's waterfront developments, including over 250 buildings, streets, sewer systems and parks;
- physical impacts are expected from a sea level rise, having significant impacts on adjacent land masses;
- environmental impacts would result from flooding and changes in shoreline.

INTRODUCTION

Tidal gauge records for the last 100 years show that the global mean sea level is rising, and has risen between 10 to 15 cm in the last century. Much of this sea level rise may be related to a general global temperature increase. Increasing concentrations of CO_2 and other "greenhouse" gases, such as chloro-fluorocarbons (CFC's), nitrous oxide (N_2O), methane (CH_4) and ozone (O_3), could likely result in much warmer temperatures and lead to further ocean water expansion, melting of snow and ice, and deglaciation. A United Nations Environment Programme/World Meteorological Organization/ International Council of Scientific Unions (UNEP/WMO/ICSU) Conference in October, 1985, entitled "International Assessment of the Role of Carbon Dioxide and of Other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts", stated that "If present trends continue, the combined concentrations of atmospheric CO_2 and other greenhouse gases will be radiatively equivalent to a doubling of the amount of CO_2 from pre-industrial levels, possibly as early as the 2030's" and, "experiments with general circulation models of the earth's climate system show increases of the global mean equilibrium surface temperature of between 1.5 and 4.5°C for a doubling of the atmospheric CO_2 concentration, or equivalent. Because of the complexity of the climate system and imperfections of the models, values outside of this range are possible. This conference concluded that "... it is estimated on the basis of observed changes since the beginning of this century, that global warming of 1.5°C and 4.5°C would lead to a sea level rise of 20-140 centimetres in the next century. A sea level rise in the upper portions of this range would have major direct effects on coastal areas and estuaries."

PHYSICAL IMPACTS EXPECTED FROM SEA LEVEL RISE

The influence of the sea pervades all aspects of life in the Atlantic Provinces of Canada, surrounded as they are by the ocean. A rise in the mean sea level will, therefore, have significant impacts on the adjacent land masses. The impacts of the sea level rise will be greatest in Prince Edward Island, since large areas of relatively low-lying land form the coast in many localities. The effects at Charlottetown, the capital city and the major population centre, would be very serious but they have not been previously addressed. Impacts of a rise in sea level on coastal areas are of four major types: flooding; erosion; saltwater intrusion; and water table rise.

The objectives of the present study were to:

1) predict the maximum water levels expected, based on 20 year and 100 year storm surges added to a one metre sea level rise;

2) map, for the Charlottetown area: 4 lines showing the 20 year flood line; the 20 year flood line plus the one metre sea level rise; the 100 year flood line; and the 100 year flood plus the one metre sea level rise;

3) determine the environmental, economic and social implications of a one metre rise in sea level, and

4) discuss the policy and planning implications of a one metre sea level rise.

A one metre sea level rise will cause flooding of low-lying land, net erosion of shorelines further inland, seawater intrusion up rivers and estuaries and into groundwater aquifers, and a general rise in the water table. The extent of flooding will be dependent on the slope of the land and the amount of erosion that takes place. Erosion is usually greatest in areas that are affected directly by storm waves. Flood protection may be afforded by dykes, levees, seawalls, breakwaters, revetments and bulkheads or by encouraging the accretion of swamps and marshes, which dissipate flooding energy or by restricting development of flood prone lands.

Seawater intrusion into rivers and estuaries will be dependent on the flow, velocity, geometry and other factors of the existing river. Saltwater intrusion, in some cases, may also lead to decreases in erosion, as a result of diminished leaching of cementing salts from the soil. The intrusion may be minimized by decreasing removals or increasing additions to rivers during periods of drought or sea level rise, or by barriers or restrictions to pathways for saltwater intrusion.

The amount of seawater intrusion into groundwater aquifers will be dependent on existing water levels, physical properties of the aquifer, and the amount of pumping occurring. Intrusion may be minimized in the following

ways: by a line of pumping wells that intercept sea water; by a line of injection wells that create a freshwater front; by artificial recharge; by physical subsurface barriers, or by modification of pumping patterns. The freshwater/saltwater interface will be dependent on the existing water levels and the physical properties of the aquifer. The interface is also strongly influenced by the amount of groundwater being pumped.

A general rise in groundwater tables will reduce the capacity of the land to drain surface water. This will result in increased stress on agricultural areas, urban storm and sanitary sewer systems, will increase flooding because storm runoff would be greater and may cause possible failure of septic systems. It may also cause increased stress on building foundations. Water table levels may be lowered locally by interception ditches or dewatering wells, but on a larger scale, services, foundations, etc. may have to be abandoned, redesigned or upgraded. Storm runoff can be minimized by ensuring the preservation of a buffer zone of natural vegetation and soil along the water's edge. All of these physical effects can be translated into socio-economic impacts. First, however, it is necessary to determine the extent of flooding and change in shoreline for the adjacent land mass.

PREDICTIONS OF FLOODING AND CHANGES IN SHORELINE

The 20 year storm and 100 year storm levels in Charlottetown, Prince Edward Island were calculated statistically from existing historical meteorological and tidal data distributed by the Marine Environmental Data Service of the Department of Fisheries and Oceans. After conducting a spectrum analysis of a 23 year set of tidal information, data gaps were filled by predicted tide levels and frequency distributions were constructed. A maximum 20 year hourly observation point was identified for extreme value analysis. Using a Type 1 extreme distribution, the 100 year extreme was extrapolated from the 20 year record. In addition, the Pugh & Vassie technique, which is an oceanographic probability analysis, was used to calculate the sea levels for 20 year and 100 year return periods. This technique involves partitioning the observed record into astronomical predictions and 'storm surge' residuals formed by subtraction.

The flood profiles produced by a numerical, one-dimensional hydrodynamic computer model entitled "I-D" were used to produce maps of the Charlottetown area showing the one in 20 year and the one in 100 year flood levels for both the existing sea level regime and that projected for a one metre rise in sea level. Four lines were drawn on these maps showing: the 100 year flood line; the 100 year flood plus one metre sea level rise line; 20 year flood line; and the 20 year flood plus one metre sea level rise line. These maps are contained only in the complete report.

The Pugh & Vassie extreme sea level predictions gave values of 372 cm and 387 cm with respect to chart datum for the 20 year and 100 year flood respectively. These values correspond well to the observed 20 year maximum of 376 cm and Type I extreme distribution predicted 100 year flood of 406 cm. These results, when averaged, augmented by the trends (10 to 33 cm

respectively) and converted to geodetic datum (168 cm), give total extreme levels of 2.16 m and 2.62 m for the 20 year and 100 year flood, respectively. These latter values include the rising trend calculated from the sea level record independent of the 'greenhouse gases effect'. In order to determine the impacts of rising sea levels, as discussed above, a postulated rise of one metre was used, giving 20 year and 100 year extreme elevations of 3.16 m and 3.62 m, respectively. These four contours were subsequently mapped to identify high risk areas associated with the Municipality of Charlottetown, Prince Edward Island. (Note: River flooding from freshwater runoff has not been considered in this study and it is generally expected to compound the problems identified here.

The base maps used were the Province of Prince Edward Island Municipal Map Series of the Charlottetown area. These have a 0.61 m (2 ft.) contour and an original scale of 1:1250.

SOCIAL AND ECONOMIC IMPACTS OF A SEA LEVEL RISE

Using the above information, a field analysis of the social and economic impacts of the one metre sea level rise was performed. Figure 1 depicts the areas of impact from a one metre rise in sea level on Charlottetown (Table 1 is a guide to this map). This work focused or waterfront disruption, industrial, housing and landmark displacement, and the detrimental effects to public property, sewers and transportation. A rationale for policy and planning decisions has been developed and recommendations made.

Using maps of four predicted sea level rises, a field analysis of the social and economic impacts of the projected sea levels was performed, consisting of interviews with various planners, public servants, operators of public facilities and major affected industries. The conclusion was that there would be many severe and costly impacts at the study locations.

IMPACTS WITHIN THE CITY OF CHARLOTTETOWN

- The main marine terminal and the coastguard docks would be seriously undermined as storm tides may make them non-functional and their access to the land would be severed.

- The expensive new developments on the waterfront, the harbourside complex, the convention centre and the courthouse would all become uninhabitable, as the high tide would flood them.

- The yacht club and the provincial government parking lot would have to be relocated.

- Sections of several streets and roads within the city would be below high tide or subject to flooding during storms.

- The integrity of the storm sewer system would be questionable, as high tides (mean high tide with 1 metre added) could back water up it, causing flooding in areas of the city not adjacent to the river.

- Two sewer pumping stations would be below high tide and need to be moved.

- The sewage treatment plant would not be functional during storms, and if its basements are not water tight it may not be functional at all because of global water intrusion.

- Part of Victoria Park would be flooded at high tide, including the swimming pool.

- About 225 buildings in the city may become uninhabitable because of periodic flooding from storm surges and surface runoff. About 15 houses would be flooded at high tide. The neighbourhood near the rail yards and tank farms would be most severely affected.

IMPACTS OUTSIDE THE CITY OF CHARLOTTETOWN

- Three small causeways on the North River Road, Beach Grove Road, and Riverside Drive would have to be rebuilt to a higher elevation.

- The North River causeway would need to be strengthened.

- Parts of Beach Grove Road, Riverside Drive and York Point Road would need to be raised.

- Part of the Parkdale Industrial Park would be subject to storm flooding (one in 20 year and one in 100 year flood levels).

- The storm sewer on Exhibition Drive in Parkdale may not function.

- Along the west shore of North River between the causeway and York Point, there are 40 to 50 waterfront lots that would be partially covered at high tide and 20 more during storm tides (storm tides are based on 20 year and 100 year storm surges).

- A few houses in Southport and Bunbury would be at risk.

CONCLUSIONS

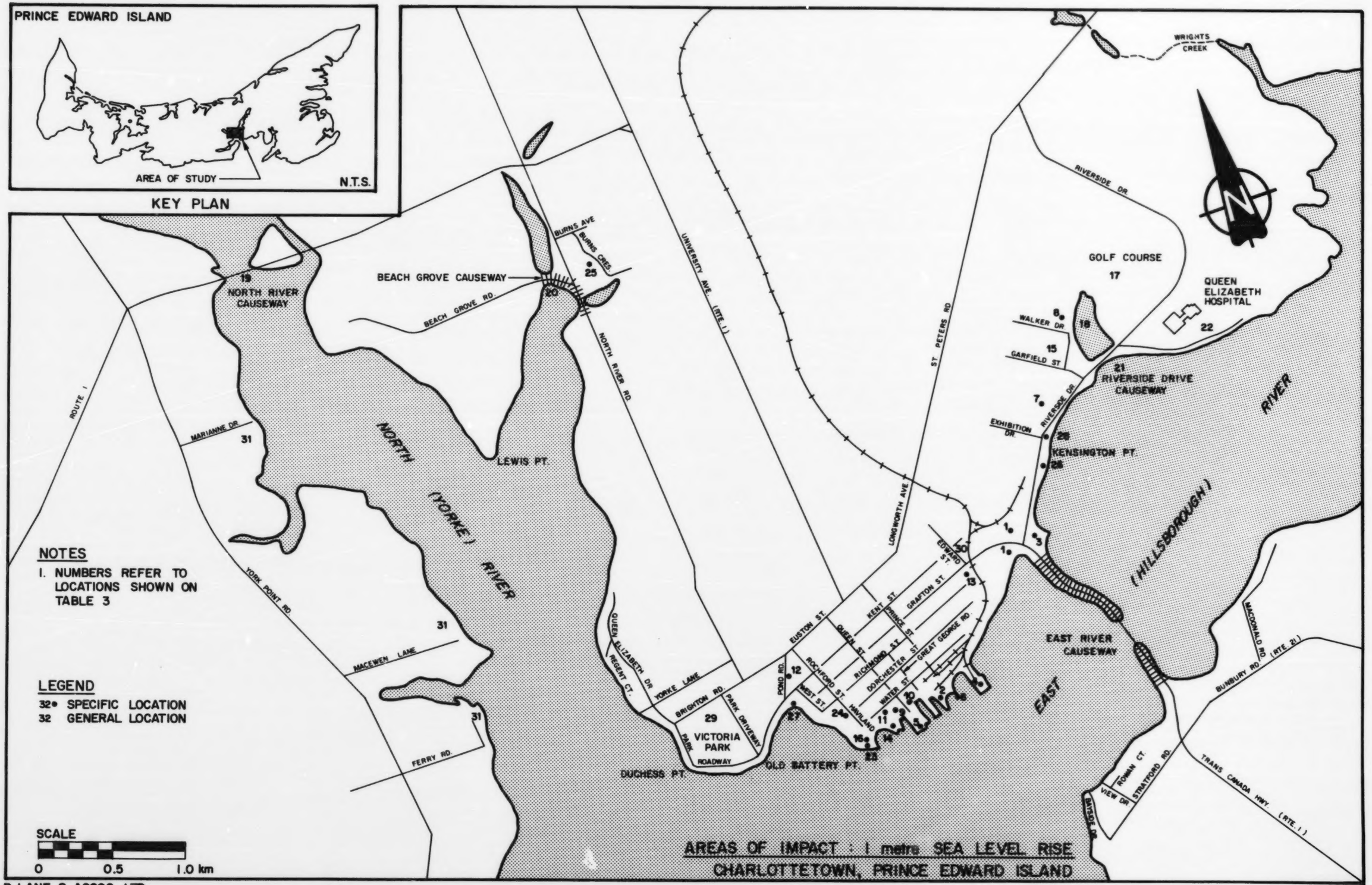
There are no easy solutions to the problems that would be created in Charlottetown, Prince Edward Island by a one metre rise in sea level. Formulation of futuristic policy and development guidelines, creation of public education programs, reconstruction of infrastructure and new construction of protective mechanisms and selected research studies are all required.

For example, in order to minimize the impact of a one metre rise in sea level, several steps must be taken by policy makers. Development guidelines must be created to prevent inappropriate use of affected land. At the same time, a public education program should be commenced to ensure public awareness of the problems that might occur.

Further research is required to determine more exactly the sea level trends and their effects on shoreline processes, flooding and groundwater/saltwater interactions. This would include monitoring of sea levels and groundwater levels and recording socio-economic effects of storms. Calculation of costs involved in providing protection or relocation should be performed and future costs established, in order to determine economic impacts and commence priority planning for infrastructure and protective mechanisms. Information on probabilities for events, effects, and costs related to them should be gathered and integrated for a full risk-benefit analysts. This analysis would be vital in order to produce guidelines for cost-effective development for the Municipality of Charlottetown.

TABLE 1
Location of affected sites shown on Figure 1

Number	Location
1	Esso Tank Farm
2	Texaco Tank Farm
3	Irving Tank Farm
4	Main Marine Terminal
5	Coastguard Dock
6	Lobster Pound
7	Lumber Yard
8	Fish Plant
9	Harbourside Complex
10	Convention Centre
11	Courthouse
12	Provincial Government Parking (and the Provincial Administration Building)
13	Maritime Electrical Plant
14	Yacht Club
15	Parkdale Industrial Park
16	Armoury
17	Golf Course
18	Sherwood Storm Sewers
19	North River Causeway
20	Beach Grove Causeway
21	Riverside Drive Causeway
22	Road Below Queen Elizabeth Hospital
23	Navy Quay Pumping Station
24	Dorchester Pumping Station
25	West Royalty Pumpting Station
26	Sewage Treatment Plant
27	Park Roadway - Kent Street Sewer Overflow
28	Parkdale 48" Storm Sewer
29	Victoria Park
30	Vacant Lot (to be park)
31	West Shore of West River (housing subdivision)



P. LANE & ASSOC. LTD.

FIGURE 3

Environnement Canada Environment Canada

d'une hauteur d'un mètre au niveau de la mer a Charlottetown, dans l'Île-du-Prince-Édouard

SCC 88-02

Canada

SOMMAIRE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

SCC 87-01 Programme canadien des incidences climatologiques

SCC 87-02 Conséquences de changement climatique sur l'agriculture en Ontario

SCC 87-03 Répercussions d'un changement de climat sur la navigation et la production d'électricité dans les Grands Lacs

SCC 87-04 Effets d'un hausse d'un mètre du niveau moyen de la mer a Saint-Jean (Nouveau-Brunswick) et au passage inférieur du Saint-Jean

SCC 88-01 Répercussions du changement climatique sur l'agriculture dans les Provinces des Prairies

SCC 88-02 Étude préliminaire des effets éventuels d'une hausse d'un mètre du niveau de la mer a Charlottetown, dans l'Ile-du-Prince-Édouard

Environnement Canada Environment Canada

ÉTUDE PRÉLIMINAIRE DES EFFETS ÉVENTUELS D'UNE HAUSSE D'UN MÈTRE DU NIVEAU DE LA MER A CHARLOTTETOWN, DANS L'ILE-DU-PRINCE-ÉDOUARD

Résume d'un rapport

dressé pour le
Sommaire du changement climatique
Service de l'environnement atmosphérique

par

P. Lane and Associates Limited
Halifax, Nouvelle-Écosse

DÉNÉGATION DE RESPONSABILITÉ

La présente publication renferme le résumé des résultats d'un étude menée en vertu d'un contrat par P. Lane and Associates pour le Centre climatologique canadien. Les avis et opinions qui y sont exprimés sont ceux des auteurs. Ils n'expriment, ni ne reflètent nécessairement ceux du gouvernment du Canada ou de tout organisme de celui-ci.

Pour obtenir à titre gracieux des exemplaires de cette publication, écrire au :

Bureau du programme climatologique
Centre climatologique canadien
4905 Rue Dufferin
Downsview (Ontario)
M3H 5T4

Pour acheter des exemplaires des rapports au complet, écrire à :

P. Lane and Associates Limited
1046 Barrington Street
Halifax, (Nova Scotia)
B3H 2R1

Publie avec l'autorisation du
ministre de l'Environnement

© Ministre des Approvisionnements
et Services Canada 1988

No de catalogue EN57-27/1988-02
ISBN 0-662-55649-6
ISSN 0835-3980

AVANT-PROPOS

L'atmosphère terrestre subit de grands changements dans sa composition à l'échelle mondiale. Les activités humaines, comme le déboisement, l'utilisation des combustibles fossiles et, même, les opérations agricoles ont nettement accru la quantité de gaz carbonique et d'autres "gaz de serre" de l'atmosphère. Il est de mieux en mieux établi du point de vue scientifique que l'accroissement de la concentration de ces gaz pourrait entraîner, au cours des prochaines décennies, une augmentation de la température moyenne mondiale supérieure à toute autre augmentation survenue depuis l'arrivée de l'homme sur terre (cf. conférence de Villach, Australie, octobre 1985). D'après les études, on pourrait s'attendre à un réchauffement mondial moyen de 1,5 à 4,5 °C; dans les régions arctiques, il est probable que ce réchauffement sera encore plus élevé.

Ces dernières années, on a de plus en plus pris conscience, à l'échelon international du fait que divers secteurs économiques sont tributaires des fluctuations climatiques et des répercussions du changement climatique à long terme. On appréhende la perte éventuelle de zones côtières due à la hausse mondiale prévue du niveau des mers, à la destruction des habitats d'innombrables espèces végétales et animales et à la perturbation de l'agriculture mondiale, pour ne citer que quelques sujets de préoccupation. Par la même occasion, le changement climatique offre éventuellement d'intéressantes possibilités économiques. Pour le Canada, celles-ci comprennent sans doute une prolongation de la saison de croissance et une navigation marchande active à longueur d'année sur les Grands Lacs. L'élément clef d'une bonne adaptation à ces changements sera notre aptitude à atténuer les effets négatifs et à tirer parti des avantages.

Ayant reconnu l'effet du climat et des fluctuations climatiques sur la société, le Canada a, en 1978, établi un Programme climatologique canadien pour intégrer les efforts de divers organismes fédéraux et provinciaux, ainsi que des universités et du secteur privé, dans le domaine de la climatologie. On a confié la responsabilité du programme au Service de l'environnement atmosphérique (SEA), d'Environnement Canada. Ce service est donc l'organisme responsable en la matière. Depuis 1984, un des éléments du programme se concentre sur les études de recherche destinées à évaluer et à déterminer les effets sociaux et économiques éventuels du réchauffement climatique auquel on s'attend suivant un scénario où la concentration de gaz carbonique doublerait. La plupart de ces études furent menées en vertu de contrats par des universités canadiennes.

Ces études et d'autres études réalisées au cours des dernières années ont clairement montré que l'accroissement des concentrations de "gaz de serre" peut bel et bien exercer des effets profonds sur notre milieu physique, mais il faut encore en considérer les résultats comme préliminaires. Les scientifiques s'entendent assez bien sur l'évolution du changement climatique à long terme, mais il existe de l'incertitude dans les estimations de l'ampleur et des échéances.

Il va de soi qu'il faut d'autres études pour fournir des renseignements de planification et d'orientation à tous les paliers d'administration et aux usagers du secteur privé. Ces études aideraient encore à établir les stratégies éventuelles d'atténuation et d'adaptation et répondraient au thème d'Environnement Canada : "Prévoir pour prévenir."

G.A. Sainte-Marie
Sous-ministre
Environnement Canada

PRÉFACE

Le Centre climatologique canadien (CCC) a financé plusieurs études touchant les effets éventuels, sur divers secteurs de l'économie canadienne, du réchauffement du climat prévu du fait de la concentration croissante des "gaz de serre" dans l'atmosphère. On a retenu le cas d'une quantité deux fois plus importante de CO_2. Le premier numéro du Sommaire du changement climatique indique les principales études de prospective socio-économique entreprises depuis 1984. La liste des titres antérieurs de la série figure au verso de la première page de couverture.

Un des résultats directs du réchauffement du globe serait une hausse de 20 à 140 cm du niveau de la mer d'ici le milieu du prochain siècle. A son tour, cette hausse aura d'importantes implications pour les zones côtières.

Une edition précédente de cette publication (SCC 87-04) présentait les résultats sommaires d'une étude des implications éventuelles d'une hausse d'un mètre du niveau moyen de la mer à Saint John (Nouveau-Brunswick). Cette edition présente les résultats d'une étude similaire pour Charlottetown, IPE. Les éléments de numéros ultérieurs comprendront d'autres résumés d'études, ainsi que des articles pertinents à d'autres questions de changement climatique.

J.A.W. McCulloch
Directeur général
Centre climatologique canadien

ÉTUDE PRÉLIMINAIRE DES EFFETS ÉVENTUELS D'UNE HAUSSE D'UN MÈTRE DU NIVEAU DE LA MER A CHARLOTTETOWN, DANS L'ILE-DU-PRINCE-ÉDOUARD

Cette étude commence par l'hypothèse d'une hausse d'un mètre du niveau de la mer attribuable au réchauffement du globe et prévoit les effets de ce scénario sur Charlottetown (Ile-du-Prince-Édouard). Elle ne cherche pas à valider cette hypothèse, ni n'analyse d'autres éléments qui influent sur le niveau de la mer, comme les affaissements tectoniques.

POINTS SAILLANTS:

- une hausse éventuelle d'un mètre du niveau de la mer du globe aurait d'importantes répercussions sociales et économiques qui menaceraient les aménagements du bord de l'eau de Charlottetown, y compris plus de 250 immeubles, rues, installations d'égout et parcs;

- on s'attend qu'une hausse du niveau de la mer exercera des effets physiques qui se répercuteront de façon importante sur les masses adjacentes de terrain;

- les inondations et les modifications du littoral exerceraient des effets sur l'environnement.

INTRODUCTION

D'après les mesures des marées relevées depuis les cent dernières années, le niveau moyen de la mer du globe s'élève. De fait, il a augmenté de 10 à 15 cm au cours du siècle dernier. Cette hausse du niveau de la mer est en grande partie liée à la montée générale de la température du globe. La concentration en hausse du CO_2 et d'autres gaz "de serre", comme les chlorofluorocarbones (CFC), le protoxyde d'azote (N_2O), le méthane (CH_4) et l'ozone (O_3), pourrait fort bien entrainer des températures bien plus hautes et, en conséquence, intensifier l'expansion des eaux des océans, accroitre la fonte de la neige et des glaces et conduire à la suppression des glaces. A la conférence "Evaluation internationale du rôle du gaz carbonique et d'autres gaz de serre dans les variations climatiques et les effets connexes" tenue en octobre 1985 dans le cadre du Programme des Nations Unies pour l'environnement et sous les auspices de l'Organisation météorologique internationale et du Conseil international des unions scientifiques (PNUE/OMM/CIUS), on a déclaré ceci : "Si les tendances actuelles persistent, les concentrations combinées du CO_2 atmosphérique et d'autres gaz de serre seront sur le plan du rayonnement, peut-être dès les années 2030, équivalentes au doublement de la quantité de CO_2 par rapport aux niveaux antérieurs à l'ère industrielle" et "les expériences sur des modèles de circulation générale du système climatique de la Terre révèlent une hausse de 1,5 à 4,5°C de la température de surface moyenne d'équilibre du globe pour un doublement de la concentration du CO_2 atmosphérique ou l'équivalent. Du fait de la complexité du système climatique et des imperfections des modèles, il peut exister des valeurs dépassant cette amplitude. A cette conférence, on est parvenu à cette conclusion : "... d'après les changements observés depuis

le début du siècle, on estime qu'un réchauffement mondial de 1,5 à 4,5°C entrainerait une hausse de 20 à 140 cm du niveau de la mer au cours du prochain siècle. Une hausse s'approchant de 140 cm exercerait de gros effets directs sur les zones côtières et les estuaires.

EFFETS PHYSIQUES PROBABLES CONSÉCUTIFS A UNE HAUSSE DU NIVEAU DE LA MER

L'influence de la mer se manifeste dans tous les aspects de la vie des provinces atlantiques du Canada, entourées qu'elles le sont par l'océan. En conséquence, une hausse du niveau moyen de la mer aura d'importants effets sur les masses adjacentes de terres. Les effets d'une hausse du niveau de la mer seront plus prononcés dans l'Ile-du-Prince-Édouard, vu que la côte, dans bien des localités, est constituée par de vastes zones de terrain assez bas. A Charlottetown, la capitale et le principal centre de population, ces effets seraient très graves. Mais, jusqu'ici, on ne les avait pas étudiés. Lesdits effets sur les zones côtières sont de quatre types principaux : l'inondation; l'érosion; l'intrusion d'eau salée; la hausse de la surface phréatique. Les objectifs de la présente étude consistent à :

1) prévoir le niveau maximal de l'eau, en ajoutant à une hausse d'un mètre du niveau de la mer des marées de tempête se présentant une fois en 20 ans et une fois en 100 ans;

2) dresser, pour la zone de Charlottetown, une carte où figurent quatre lignes indiquant la ligne de crue sur 20 ans; la ligne de crue sur 20 ans après addition de la hausse d'une mètre du niveau de la mer; la ligne de crue sur 100 ans; et la ligne de crue sur 100 ans après addition de la hausse d'un mètre du niveau de la mer;

3) déterminer les répercussions environnementales, économiques et sociales d'une hausse d'un mètre du niveau de la mer;

4) étudier les implications, pour la planification et l'établissement des lignes de conduite, d'une hausse d'un mètre du niveau de la mer.

Une hausse d'un mètre du niveau de la mer causera l'inondation des terrains bas, l'érosion nette du littoral (plus loin dans l'intérieur des terres), l'intrusion d'eau de mer dans les cours d'eau, les estuaires et les nappes aquifères souterraines, ainsi qu'une hausse générale de la surface phréatique. L'ampleur de l'inondation dépendra de la pente du terrain et de l'importance de l'érosion effective. L'érosion est d'ordinaire la plus forte dans les zones touchées directement par les marées de tempête. On peut se protéger contre l'inondation en ménageant des digues, des levées, des brise-lames, des murs de soutènement et des batardeaux, en favorisant la croissance des marais et marécages qui dissipent l'énergie des crues et en soumettant à des restrictions l'aménagement des terrains sujets aux inondations.

L'intrusion d'eau de mer dans les cours d'eau et les estuaires dépendra du courant, de la vélocité, de la topographie et d'autres éléments des cours d'eau. Dans certains cas, du fait d'un lessivage atténué des sels de

cimentation du sol, l'intrusion d'eau salée peut faire décroître l'érosion. On peut réduire l'intrusion, en diminuant les retraits ou en augmentant les ajouts des cours d'eau pendant les périodes de sécheresse ou de hausse du niveau de la mer, ou en opposant des obstacles au passage de l'eau salée.

L'ampleur de l'intrusion d'eau de mer dans les masses aquifères souterraines dépendra des niveaux existants de l'eau, des propriétés physiques de la nappe aquifère et de l'importance des opérations de pompage. On peut réduire cette intrusion des façons suivantes : par une ligne de puits de pompage qui interceptent l'eau de mer; par une ligne de puits d'injection qui créent un front d'eau douce; par un rechargement artificiel; par des obstacles physiques sous-marins; ou par la modification des structures de pompage. La surface de séparation de l'eau douce et de l'eau salée dépendra des niveaux existants d'eau et des propriétés physiques de la nappe aquifère. Cette surface est aussi fortement influencée par la quantité d'eau souterraine pompée.

Une hausse généralisée de la surface des eaux souterraines réduira l'aptitude du terrain à drainer l'eau de surface. Il en résultera des contraintes accrues dans les zones agricoles, ainsi que dans les égouts pluviaux et sanitaires des villes. Il y a aura une hausse des inondations, car le ruissellement des eaux d'orage serait plus fort et risquerait d'abimer les systèmes septiques. La fondation des bâtiments risque aussi d'être plus éprouvée. Le niveau de la surface phréatique peut baisser à l'échelon local sous l'effet de fossés d'interception ou de puits de collecte des eaux excédentaires, mais, à une échelle plus grande, il faudra peut-être abandonner, remanier ou améliorer les services, les fondations, etc. On peut réduire le ruissellement des eaux d'orage, en veillant à préserver une zone tampon de végétation naturelle et de sol sur le bord de l'eau. Tous ces effets physiques peuvent se traduire en effets socio-économiques. Toutefois, il faut d'abord déterminer l'ampleur de l'inondation et le changement du littoral pour la masse adjacente de terrain.

PRÉVISION DES INONDATIONS ET DES CHANGEMENTS DE LITTORAL

Pour opérer le calcul statistique des niveaux qu'on observerait pendant la tempête survenant une fois en 20 ans et celle survenant une fois en 100 ans à Charlottetown (Ile-du-Prince-Édouard), on s'est servi des données historiques de météorologie et sur les marées distribuées par le Service des données sur le milieu marin du ministère des Pêches et Océans. Après avoir effectué l'analyse spectrale d'une série de 23 années de renseignements sur les marées, on a comblé les lacunes au moyen de niveaux de marées prévus et dressé la distribution des fréquences. On a établi un point maximal d'observations horaires sur 20 ans pour l'analyse des valeurs extrêmes. Grâce à une distribution des extrêmes de type I, on a extrapolé l'extrême sur 100 ans à partir du relevé sur 20 ans. En outre, on a appliqué la technique Pugh & Vassie, analyse de probabilité océanographique, pour calculer le niveau de la mer pour des périodes de retour sur 20 ans et sur 100 ans. Suivant cette technique, on répartit le relevé des observations en prévisions astronomiques et en résidus de "marées de tempête" formés par soustraction.

Les profils des inondations établis par un modèle informatique numérique, unidimensionnel et hydrodynamique appelé "I-D" ont servi à dresser des cartes de la région de Charlottetown qui indiquent le niveau d'inondation se présentant une fois en 20 ans et une fois en 100 ans tant pour le régime actuel du niveau de la mer que pour le niveau projeté en fonction d'une hausse d'un mètre du niveau de la mer. Sur ces cartes, on a tracé quatre lignes : la ligne de crue sur 100 ans; la ligne de crue sur 100 ans après addition de la hausse d'un mètre du niveau de la mer; la ligne de crue sur 20 ans; la ligne de crue sur 20 ans après addition de la hausse d'un mètre du niveau de la mer. Ces cartes sont incluses uniquement avec le rapport complet.

Les prévisions du niveau extrême de la mer suivant la technique Pugh & Vassie ont donné des valeurs de 372 cm et de 387 cm pour la ligne de référence de la carte et ce, respectivement, pour l'inondation survenant une fois en 20 ans et celle survenant une fois en 100 ans. Ces valeurs correspondent bien au maximum de 376 cm observé sur 20 ans et à l'inondation de 406 cm survenant une fois en 100 ans prévue dans la distribution des extrême du type I. Ces résultats, une fois qu'on en a établi la moyenne, qu'on leur a ajouté la valeur des tendances (respectivement 10 et 33 cm) et qu'on les a convertis par rapport au plan de référence géodésique (168 cm), donnent des niveaux totaux extrêmes de 2,16 m pour l'inondation survenant une fois en 20 ans et de 2,62 m pour l'inondation survenant une fois en 100 ans. Ces dernières valeurs comprennent la tendance à la hausse calculée à partir du relevé du niveau de la mer, indépendamment de "l'effet des gaz de serre". Pour déterminer l'effet du niveau en hausse de la mer, comme on l'a examiné plus haut, on a pris pour hypothèse une hausse d'un mètre, qui donne des hauteurs extrêmes de 3,16 m sur 20 ans et de 3,62 m sur 100 ans. Par la suite, on a tracé ces quatre isohypses sur la carte pour déterminer les zones à haut risque liées à la municipalité de Charlottetown, dans l'Ile-du-Prince-Édouard. Remarque : Dans cette étude, on n'a pas tenu compte des crues des cours d'eau résultant du ruissellement de l'eau douce. En général, on s'attend que ces crues aggravent les problèmes décelés dans le présent document.

Les cartes de base utilisées, de la région de Charlottetown, font partie de la série des cartes municipales de l'Ile-du-Prince-Édouard. Elles ont une isohypse de 0,61 m (2 pieds) et sont d'une échelle originale de 1/1 250.

EFFETS SOCIAUX ET ÉCONOMIQUES DE LA HAUSSE DU NIVEAU DE LA MER

A partir de l'information ci-dessus, on a effectué sur le terrain l'analyse des répercussions sociales et économiques de la hausse d'un mètre du niveau de la mer. La figure 1 montre les zones touchées à Charlottetown par la hausse d'un mètre du niveau de la mer. Le tableau 1 est le guide de cette carte. Ce travail s'est concentré sur la perturbation au bord de l'eau, la transplantation de l'industrie, des habitations et des points d'intérêt et les effets nocifs sur les biens publics, les égouts et les transports. On a établi un exposé justificatif pour la prise de décisions en

matière de planification et de lignes de conduite. On a aussi présenté des recommandations.

Grâce à des cartes de quatre hausses prévues du niveau de la mer, on a exécuté sur le terrain l'analyse des répercussions sociales et économiques des niveaux projetés de la mer. A cet effet, on a interrogé divers planificateurs, fonctionnaires, exploitants de services publics et représentants de grosses industries. On en a conclu qu'il y aurait nombre de répercussions graves et coûteuses aux lieux visés par l'étude.

RÉPERCUSSIONS DANS LA VILLE DE CHARLOTTETOWN

- Le principal terminus maritime et les docks de la Garde côtière seraient gravement éprouvés, car les marées de tempête risqueraient de les mettre hors d'usage et leur accès à la terre ferme serait coupé.

- Les coûteux et nouveaux aménagements du bord de l'eau, le complexe portuaire, le centre des congrès et le tribunal deviendraient inutilisables, car ils seraient inondés à la marée haute.

- Il faudrait aménager à un autre endroit le yacht-club et le parc de stationnement du gouvernement provincial.

- Dans la ville, des tronçons de rues et de routes seraient submergés d'eau à la marée haute ou sujets aux inondations pendant les orages.

- L'efficacité des égouts pluviaux serait compromise, car les marées hautes (marées de hauteur moyenne après addition d'un mètre) pourraient y refouler de l'eau, en causant des inondations dans des quartiers de la ville non contigus au cours d'eau.

- Il faudrait déplacer deux stations de pompage d'égout, qui seraient autrement submergées à la marée haute.

- L'usine de traitement des égouts risque de ne pas être en état de fonctionner pendant les orages. Si le sous-sol n'en est pas étanche, elle risque, du fait de l'intrusion généralisée de l'eau, de ne pas pouvoir fonctionner du tout.

- Certaines parties du parc Victoria seraient inondées à marée haute, y compris la piscine.

- A cause des inondations périodiques résultant des marées de tempête et du ruissellement de surface, à peu près de 225 bâtiments de la ville risquent de devenir inhabitable. Une quinzaine de maisons seraient inondées à marée haute. Le quartier situé près de la gare de triage et des parcs à réservoirs serait le plus gravement touché.

RÉPERCUSSIONS A L'EXTÉRIEUR DE LA VILLE DE CHARLOTTETOWN

- Il faudrait reconstruire, à une hauteur plus élevée, trois petites chaussées de North River Road, Beach Grove et Riverside Drive.

- Il faudrait renforcer la chaussée de North River.

- Il faudrait surélever certains tronçons de Beach Grove Road, de Riverside Drive et de York Point Road.

- Une partie du parc industriel de Parkdale serait exposée aux inondations en cas d'orages (niveaux d'inondation survenant une fois en 20 ans et une fois en 100 ans).

- L'égout pluvial d'Exhibition Drive, dans Parkdale, risque de ne pas fonctionner.

- Le long de la rive ouest de North River, entre la chaussée et York Point, 40 à 50 parcelles seraient en partie submergées à marée haute et 20 autres pendant les marées de tempête (d'après des soulèvements de tempête survenant une fois en 20 ans et une fois en 100 ans).

- Quelques maisons de Southport et de Bunbury seraient exposées à des risques.

CONCLUSIONS

Il n'existe pas de solutions faciles aux problèmes que causerait à Charlottetown (Ile-du-Prince-Édouard) une hausse d'un mètre du niveau moyen de la mer. Il faut concevoir des lignes de conduite futuristes en matière d'orientation et d'aménagement, créer des programmes d'éducation du public, reconstruire l'infrastructure, établir de nouveaux mécanismes de protection et procéder à certaines études de recherche.

Par exemple, pour atténuer les répercussions d'une hausse d'un mètre du niveau de la mer, les décisionnaires doivent prendre plusieurs mesures. En matière d'aménagement, il faut établir des lignes de condutie pour prévenir l'utilisation inappropriée des terrains affectés. Par la même occasion, il faudrait commencer d'exécuter un programme de sensibilisation du public aux problèmes éventuels.

Il faut poursuivre la recherche pour déterminer plus exactement les tendances du niveau de la mer et leurs effets sur les phénomènes du littoral, les inondations et les interactions eau souterraine/eau salée. On surveillerait ici les niveaux de la mer et de l'eau souterraine et enregistrerait les effets socio-économiques des orages. Afin des déterminer les répercussions économiques et de procéder à la planification des priorités pour l'infrastructure et les mécanismes de protection, on devrait calculer les coûts afférents à la protection ou au transfert et établir les futurs coûts. On devrait rassembler les renseignements sur la probabilité d'événements, d'effets et de coûts correspondants de les intégrer en vue d'une

analyse des risques et des avantages. Cette analyse serait d'une importance capitale pour des lignes de conduite qui permettraient de rentabiliser l'aménagement de la municipalité de Charlottetown.

TABLEAU 1
Emplacements affecté demontrer sur Figure 1

#	Emplacement
1	Champ de réservoir de stockage Esso
2	Champ de réservoir de stockage Texaco
3	Champ de réservoir de stockage Irving
4	Terminus maritime principal
5	Dock de la garde côtière
6	Réservoir à homard
7	Cour à bois de construction
8	Usine à poisson
9	Complexe au bord du port
10	Centre de convention
11	Palais de justice
12	Lieu de stationnement du gouvernement provincial et l'édifice administratif provincial
13	Installation électrique des maritimes
14	Yacht-club
15	Parc industriel Parkdale
16	Dépôt d'armes
17	Terrain de golf
18	Egouts pluviaux de Sherwood
19	La chaussée de la rivière North River (causeway)
20	La chaussée de Beach Grove
21	La chaussée de Riverside Drive
22	Chemin en contre-bas de l'hôpital Queen Elizabeth
23	Centrale de pompages du quai de la Marine
24	Centrale de pompages de Dorchester
25	Centrale de pompages de West Royalty
26	Usine d'épuration des eaux d'égout
27	Park Roadway - Déversoir d'orage dela rue Kent
28	Egout pluvial de 48" de Parkdale
29	Parc Victoria
30	Terrain vacant (futur parc)
31	Côte ouest de la rivière West River (lotissement domiciliaires)

L'ILE DU PRINCE EDWARD

ZONE D'ETUDG — N.T.S.

PLAN – REPERE

LE RUISSEAU WRIGHTS CREEK

CHEMIN RIVERSIDE DR.

TERRAIN DE GOLF

17

CHEMIN EN CONTRE-BAS DE L'HOSPITAL QUEEN ELIZABETH

22

CHEMIN WALKER DR.

8.

18

RUE GARFIELD

15

21

LA CHAUSEE DE RIVERSIDE DRIVE

7.

CHEMIN EXHIBITION DR

CHEMIN RIVERSIDE DR.

28

LA POINTE KENSINGTON

26

LE BRAS EST DE LA RIVIERE HILLSBOROUGH RIVER

L'AVENUE BURNS

RUE BURNS CRES.

25

LA CHAUSEE DE BEACH GROVE

20

CHEMIN BEACH GROVE

19

LA CHAUSSEE DE LA RIVIERE NORTH RIVER

L'AVENUE UNIVERSITY AVENUE (ROUTE 1)

CHEMIN SAINT PETER'S

CHEMIN NORTH RIVER

ROUTE 1

CHEMIN MARIANNE DR.

31

LE BRAS NORD DE LA RIVIERE YORK RIVER

LA POINTE LEWIS

L'AVENUE LONGWORTH

RUE EDWARD

30

1.

3

13

RUE KENT

RUE GRAFTON

RUE EUSTON

RUE QUEEN

RUE PRINCE

RUE RICHMOND

RUE ROCKFORD

RUE DORCHESTER

CHEMIN GREAT GEORGE

RUE WATER

12

RUE WEST

24.

RUE HOLLAND

27

11

9

10

5

2

4

16.

23

14

LA CHAUSEE DE LA RIVIERE EAST RIVER

CHEMIN QUEEN ELIZABETH DR.

RUE REGENT CT.

CHEMIN YORK LANE

CHEMIN BRIGHTON

CHEMIN POND

CHEMIN PARK DRIVEWAY

CHAUSSEE PARK ROADWAY

29

PARC VICTORIA

LA POINTE DUCHESS

LA POINTE OLD BATTERY

CHEMIN YORK POINT

31

CHEMIN MACEWEN DRIVE

31

CHEMIN FERRY

CHEMIN MACDONALD

CHEMIN BUNBURY (ROUTE 2)

RUE ROWAN COURT

CHEMIN STRATFORD

CHEMIN VIEW DR.

CHEMIN BAYSIDE DR.

LA ROUTE TRANSCANADIENNE (ROUTE 1)

NOTES

I.) LES CHIFFRES FONT REFERENCE AU ENDROITS INDIQUER SUR TABLE 3

LEGEND

32• ENDROITS SPECIFIQUE

32 ENDROITS GENERALE

ECHELLE

0 0.5 1.0 km

ZONE D'IMPACT : FLUX DE LA MER 1 metre

CHARLOTTETOWN, L'ILE DU PRINCE EDWARD